Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. D. Plester

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MECHANIK DER GEHÖRKNÖCHELCHENKETTE NACH TYMPANOPLASTIK UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER STAPESFUSSPLATTE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Ulf-Thilo Axel Kreutzer
aus Stuttgart

1978

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. D. Plester

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MECHANIK DER GEHÖRKNÖCHELCHENKETTE NACH TYMPANOPLASTIK UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER STAPESFUSSPLATTE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Ulf-Thilo Axel Kreutzer
aus Stuttgart

1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H.-E. Hoffmeister
Berichterstatter: Professor Dr. J. Helms
(Professor Dr. D. Plester)

Inhaltsverzeichnis Seite

I. Einleitung

1. Vorbemerkung 1
2. Zur Funktion des gesunden Mittelohres 3
2.1 Gehörknöchelchenkette als Schallüberträger 3
2.2 Hebelwirkung der Gehörknöchelchenkette 4
2.3 Schutzfunktion der Gehörknöchelchenkette 5
3. Schwingungsverhalten der Gehörknöchelchenkette im nicht operierten Ohr 6
4. Das operierte Mittelohr 7
4.1 Die fünf Typen der Tympanoplastik nach Wullstein 9
4.2 Rekonstruktion der Gehörknöchelchenkette 1o
5. Versorgung des Mittelohres durch Prothesen 11
5.1 Knorpel- oder Knochentransplantate 12
5.2 Prothesen aus Draht 14
5.3 Prothesen aus Kunststoff 14
6. Verträglichkeit der Prothesen 15

II. Problemstellung 15

III. Methoden 16

1. Allgemeines 16
1.1 Mechanische Sonden 16
1.2 Aufgeklebte Spiegel 16
1.3 Kapazitative Sonden 17
1.4 Stroboskopie 17

2. Eigene Technik 18
2.1 Technischer Aufbau des Mikrostroboskops (nach Helms) 18
2.1.1 Beleuchtungsteil 19
2.1.2 Schallapplikation 19

IV. Experimentelle Untersuchungen 21

1. Felsenbeinpräparate 21
1.1 Entnahme 21
1.2 Postmortale Veränderungen 21
1.3 Lagerung 22
1.4 Präparation 22
1.5 Incustransposition 25
2. Versuchsanordnung 26
3. Auswertung 27
3.1 Beobachtung und Beschreibung 27
3.2 Okularmikrometer 27
3.2.1 Eichung 28
3.2.2 Meßgenauigkeit 28
4. Ergebnisse 29
4.1 Incustransposition zum oberen Hammergriffdrittel 36
4.2 Incustransposition zum unteren Hammergriffdrittel 36
4.3 Incustransposition zum mittleren Hammergriffdrittel 37
4.4 Incustransposition zum Trommelfell 37

V. Diskussion der Ergebnisse 38

VI. Zusammenfassung 4o

VII. Literaturverzeichnis 42

I. Einleitung

1. Vorbemerkung

Ein wichtiges Anliegen des Otologen ist die Erhaltung und Verbesserung des Gehörs. Vor allem aber bestand und besteht auch heute noch seine Aufgabe darin, das Leben seiner Patienten vor tödlichen Komplikationen zu schützen. (57) So richtete die ältere Otochirurgie ihr Augenmerk hauptsächlich auf die Verhütung und Bekämpfung lebensgefährlicher Verwicklungen wie Meningitis, Hirnabszeß und Sinusthrombose. Mit der besseren Beherrschung dieser Krankheitsbilder durch die Möglichkeiten der modernen Antibiotikatherapie konnte der Gedanke einer funktionellen rekonstruktiven Chirurgie in weit stärkerem Maße hervortreten.

Den entscheidenden Beitrag zur Entwicklung einer neuen Methode in der Behandlung der weit verbreiteten und gefährlichen entzündlichen Erkrankungen des Ohres leisteten zu Beginn der fünfziger Jahre die deutschen Otologen, unter ihnen Moritz, Wullstein und Zöllner in den Jahren 1949 - 1953. (39)
Wesentlich unterstützt wurde diese Entwicklung durch Verbesserungen in allen Bereichen der Operationstechnik, besonders aber duch die Einführung des Audiometers, das eine genauere Indikationsstellung ermöglich-

te, zweitens durch die Entwicklung geeigneter Bohrmaschinen und drittens durch die Möglichkeiten, die das 1953 von der Firma Zeiss auf den Markt gebrachte Operationsmikroskop bot. (57)

Die Operationsarten, die in diesen Jahren entwickelt wurden und deren Ziel in der Besserung oder Wiederherstellung des Hörvermögens bei allen Formen der nicht otosklerotischen Schalleitungsschwerhörigkeit, besonders aber der chronischen Otitis media, lag, wurden erstmals 1953 von Wullstein mit dem Begriff "Tympanoplastik" beschrieben. (Plester, 39)
Er beschrieb fünf Typen der Tympanoplastik, die es dem Operateur erlauben, unter Beachtung des Ausmaßes der Zerstörung an der Schalleitungskette oder auftretender Fehlentwicklungen, ein funktionsfähiges Mittelohr wieder aufzubauen. Voraussetzung war damals wie heute ein genaues Verständnis der Funktionsprinzipien des Gehörorgans, insbesondere von Trommelfell und Schalleitungskette im gesunden, unverletzten Ohr. (Plester, 39)

Das Ziel dieser Arbeit soll sein, Angaben über die Mechanik der operierten Gehörknöchelchenkette zu machen, die Amplituden der Ossicula zu messen und die Übertragungsverhältnisse zu berechnen. Sie soll ein Beitrag sein zur Aufklärung der Funktion der Schall-

übertragungskette am operierten menschlichen Ohr.

2. Angaben zur Funktion des gesunden Mittelohres

Die Grundlagen unseres heutigen Wissens über die Vorgänge im gesunden Mittelohr lieferten uns Helmholtz (24, 25) und Mach und Kessel (33, 34) mit ihren Arbeiten über die Physiologie des Mittelohres. Helmholtz versuchte durch Erforschung von Gestalt, Lage und Befestigung der im Mittelohr vorhandenen Strukturen Anhaltspunkte für ihre Funktion zu finden, während Mach und Kessel zu ihren Ergebnissen durch Experimente mit aufgeklebten Spiegeln und später mit dem Stroboskop kamen.

2.1 Gehörknöchelchenkette als Schallüberträger

Im Laufe der Phylogenese stellte sich bei der Entwicklung vom Wasser- zum Landtier das Problem einer Aufnahme von Schallreizen aus der Luft. Im Wasser können die Schallwellen in den schwimmenden Organismus eindringen, ohne große Widerstände überwinden zu müssen. Auf dem Land dagegen wäre ohne geeigneten Transformationsmechanismus der Schallverlust beim Übergang von der Luft in die Cochleaflüssigkeit so groß, daß nur etwa o,o1 % der applizierten Energie im Innenohr ankämen. (7, 47, 48, 51, 52, 53)

Das Reptilien- und Vogelohr löst dieses Problem mittels eines in der Mitte leicht angewinkelten säulenförmigen Knöchelchensystems, der Columella. (21,52,54)

In der aufsteigenden Tierreihe entwickelte sich aus diesem einfachen Transformationssystem aus Trommelfell, Columella, Extracolumella und Stapes die dreiteilige Gehörknöchelchenkette des Säugerohrs. (29) Fehlt dieser Übertragungsmechanismus oder ist er gestört, findet man eine Schalleitungsschwerhörigkeit.

2.2 Hebelwirkung der Gehörknöchelchenkette

Helmholtz (24,25) beschrieb die Gehörknöchelchenkette als einen einarmigen Hebel, bei dem das Manubrium als Kraft- und das Crus longum incudis als Lastarm wirkt; das Crus breve incudis dient als Hypomochlion. Dieser Auffassung, daß es sich bei der Schalleitungskette nicht nur um einen Mechanismus zur Fortleitung des Schalls, sondern auch zu seiner Verstärkung handele, schlossen sich zahlreiche Nachuntersucher an. (2,3,7,14,18,22,31, 47,48,50,51,53)

Eine Reihe von Autoren widersprach jedoch der Annahme

einer Schalldrucksteigerung durch die Ossiculakette (8, 37) oder bezweifelte zumindest ihre Notwendigkeit (6, 51, 56). Beträgt doch der Hörgewinn durch die Verstärkung im Bereich der Gehörknöchelchenkette lediglich 2,5 dB, während allein für die Verstärkung durch die Flächenrelation zwischen Trommelfell und ovalem Fenster und dem trommelfelleigenen Hebel der etwa zehnfache Wert errechnet werden kann. (6, 7,11,12,51,52)

2.3 Schutzfunktion der Gehörknöchelchenkette

1908 diskutierte Bezold (9) erstmals die Notwendigkeit eines Schutzmechanismus am Ohr, dessen Aufgabe es sein sollte das Innenohr vor zu starken Schallwirkungen zu schützen. Schon fünfzig Jahre vor ihm deutete Helmholtz (24, 25) die von ihm gefundenen "Sperrzähne" an den Gelenkflächen von Hammer und Amboß als einen Mechanismus, der den Stapes davor bewahre, aus dem ovalen Fenster herausgerissen zu werden. Mach und Kessel (34) beschrieben eine Faserknorpelscheibe im Incudo-Malleargelenk, an der die Gelenkflächen sich gegeneinander verschieben konnten. Tonndorf (50) bezeichnet die Verbindung zwischen Malleus und Incus als Reibungskupplung mit der Möglichkeit, das Gelenk bei lauten niederfrequenten Schallreizen zu entkoppeln. Die Änderung

der Schwingungsachse der Stapesfußplatte von vertikal nach horizontal, und die damit verbundene Dämpfung der Bewegungsausschläge, wurde von v. Békésy (7) als Möglichkeit angesehen, die empfindlichen Innenohrstrukturen vor Traumen durch zu große Schallenergien zu schützen.

Beim Vogel- und Amphibienohr wird der Schutz durch eine Sollbruchstelle zwischen Columella und Extracolumella gewährleistet. (47, 54)

3. Schwingungsverhalten der Gehörknöchelchenkette im nicht operierten Ohr

Auch hier waren es Helmholtz (24, 25) und Mach und Kessel (33,34), die die Grundlagen erarbeiteten. Helmholtz fand bei seinen Untersuchungen über den Schwingungsvorgang der Ossicula so geringe Verschiebungen in den Kettengelenken, daß er ihre Bewegungen als die eines einzigen Körpers beschreiben konnte. Als Rotationsachse gab er das "Achsenband" an, einen Faserzug, in dem sich das Ligamentum mallei posticum und Teile des Ligamentum mallei anterius vereinigen. Mach und Kessel beobachteten nur bei niedrigen Schalldrucken eine gemeinsame Aktion der Ossicula, während bei höheren Drucken die Rotation nacheinander um mehrere Achsen stattfand, und in den Kettengelenken Wackelbewegungen auftraten. Insgesamt sprachen sie von einer

großen Variationsbreite im Schwingungsverhalten. Dahmann (14), Groen (18) und Gundersen (22) beschrieben die Abhängigkeit der Rotationsachsen der Gehörknöchelchenkette von der applizierten Schallstärke, d.h. bei hohem Schalldruck stellten sich Torkel- und Wackelbewegungen ein.

Die trägheitsfreie Aufhängung der Gehörknöchelchen gestattet einerseits die verzögerungsfreie Reaktion auf eintreffende Schallwellen, andererseits wird dadurch die Wahrnehmung von Geräuschen bei Kaubewegungen und Kopfdrehungen verhindert. (7,24,25,18)

Über die Schwingungsform des Stapes herrschen verschiedene Auffassungen. Helmholtz (24,25), v. Békésy (7), Kirikae (30), Mink (37) und Kobrak (31) beschrieben eine Kipp- oder Scharnierbewegung, während Guinan und Peake (19), Gundersen (22) und Dankbaar (15) eine Stempelbewegung des Stapes fanden.

4. Das operierte Mittelohr

"Der Wiederaufbau einer Schalleitungskette im Mittelohr gelingt nach den Fortschritten in der Mikrochirurgie des Ohres in den letzten zehn bis zwanzig Jahren häufig. Insbesondere, wenn der Hammergriff und der Stapes erhalten und frei beweglich sind, läßt

sich ein Schalleitungsdefizit mit großer Sicherheit erheblich mindern. Aber auch, wenn neben dem Hammergriff lediglich die bewegliche Fußplatte verblieben ist, ergeben verschiedene Formen der Amboßinterposition, die Einlage von Knorpel, Knorpel-Draht, Knochenstückchen oder Drahtbrücken zwischen Fußplatte und Hammergriff bzw. Trommelfell oft günstige postoperative Resultate." (Helms, 26)

Die wichtigsten Voraussetzungen für die Durchführung einer gehörverbessernden Operation sind eine gute Tubendurchlüftung und natürlich ein funktionsfähiges Innenohr. (2,28,55,57) Die Vermeidung einer Operationshöhle, die ständiger Pflege bedarf, ist eines der Hauptziele einer Tympanoplastik. Weiter wird die Rekonstruktion des Trommelfells in seiner natürlichen Lage und der Wiederaufbau der Gehörknöchelchenkette angestrebt. (45)

Als Wullstein 1952 die verschiedenen Möglichkeiten tympanoplastischer Operationen systematisch erfaßte, wurde die Rekonstruktion der Gehörknöchelchenkette noch mit verhältnismäßig wenig Energie betrieben. (45) Es kam bei den Operationen nach den Typen I-V hauptsächlich darauf an, die Ankoppelung des Trommelfells an das Innenohr zu gewährleisten, auch wenn dabei der Rest der Schalleitungskette zerstört wurde.

4.1 Die fünf Typen der Tympanoplastik nach Wullstein (2,1o)

Typ I: Myringoplastik. Dieser Ausdruck wurde erstmals 1818 von Berthold erwähnt und bezeichnet den Verschluß eines Trommelfelldefektes. Bei der Prüfung vor der Operation in einem Prothesenversuch muß bereits der Verschluß des Trommelfelldefektes mit einer Wattekugel eine deutliche Hörverbesserung bringen.

Typ II: Hier wird trotz leichter Ossiculadefekte versucht, Mittelohr und Epitympanon in möglichst normaler Abmessung und Tiefe zwischen Trommelfell und Promontorium zu erhalten.

Typ III: Der Schalldruck wird vom Trommelfell direkt auf den Stapes übertragen; Hammer und Amboß fehlen (Columella-Effekt"). Es entsteht die sogenannte "flache Pauke". Durch eine Amboßinterposition zwischen Stapeskopf und Hammergriff oder Trommelfell kann die Ankopplung verbessert werden.

TypIV: Das Foramen ovale wird den eintreffenden Schallwellen direkt ausgesetzt, während fürs Foramen rotundum ein Schallschutz konstruiert wird. Das Ergebnis ist eine "kleine Pauke"

Typ V: Bei mißgebildetem ovalem Fenster oder bei einer Fixierung der Stapesfußplatte wird ein künstliches Fen-

ster im horizontalen Bogengang angelegt.

Es wird bei Typ I - III die Behebung des jeweiligen Defektes und der Wiederaufbau eines Apparates zur Schalldrucktransformation erreicht, während bei Typ IV und V lediglich die Schallabschirmung des runden Fensters angestrebt wird.
Gelingt dies nicht, so kommt es zur Beschallung beider Fenster und damit theoretisch zum absoluten Hörverlust. (55,56)

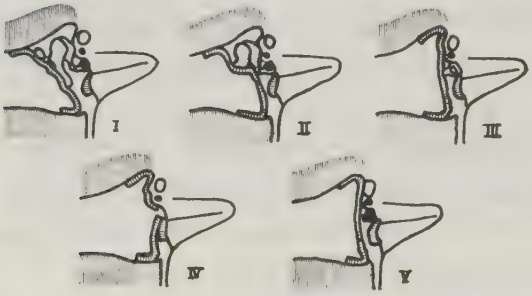


Abb. 1:
Die 5 Typen der Tympanoplastik nach Wullstein (10)
(Erläuterungen siehe Text)

4.2 Rekonstruktion der Gehörknöchelchenkette

Erfahrungsgemäß ist die Erosion des langen Amboßfortsatzes der häufigste Defekt im Mittelohr abgesehen von

der Trommelfellperforation. (1,3,38,13,58)

Aus diesem Grund lag es nahe, daß verstärkt nach Möglichkeiten gesucht wurde, die Schalleitungskette wieder aufzubauen. Im Zuge dieser Bemühungen kamen verschiedene Materialien zur Anwendung. Maßstab für das Gelingen dieser Operationen ist dabei die Größe des resultierenden Schalleitungsdefizits. (56)

Die Entwicklung mußte also dahin gehen, die Typen IV-V möglichst zu vermeiden. Auch Wullstein selbst fand nach diesen Operationen schlechtere Ergebnisse (25-30 dB Hörverlust) als bei der reinen Myringoplastik oder dem Vorgehen nach Typ II und Typ III, wonach der Hörverlust bei 15 dB lag. (56)

Aus diesen Gründen ist z.B. bei chronischer Otitis media die Operation indiziert, auch wenn die Mittelohrfunktion noch zufriedenstellend ist, weil es gilt, dem Hörverlust späterer Stadien vorzubeugen.

5. Versorgung des Mittelohres durch Prothesen

Durch eine Myringoplastik kann das Mittelohr nach außen hin plastisch verschlossen werden. Dadurch ist es oft möglich, eine chronische Entzündung zu beseitigen. Bei teilweiser oder völliger Zerstörung der Gehörknöchelchenkette muß zusätzlich versucht werden, einen

funktionsfähigen Schalltransformationsmechanismus wieder aufzubauen.

Zur Überbrückung der Defekte wurden unterschiedliche Materialien erprobt. Heute wird mit auto- oder homoioplastischen Knorpel- oder Knochenstückchen ebenso gearbeitet, wie mit Prothesen aus Kunststoff oder Draht.

Eine relativ einfache Möglichkeit zur Wiederherstellung der Gehörknöchelchenkette besteht in der Transposition oder der Verlagerung einzelner Glieder. (1,2, 3,20,21,23,28,36,38,39,40,45,46,55,58)

Eine verhältnismäßig große Zahl der Patienten (40) zeigt bei intaktem und beweglichem Stapes Defekte im Bereich der restlichen Kettenglieder. Nach Wullstein bietet sich hier eine Tympanoplastik nach Typ III an mit einer direkten Auflagerung des Trommelfells auf den Stapes. Nach physiologischen Überlegungen müßte ein gutes Ergebnis zu erwarten sein. Die Erfahrung zeigt jedoch, daß eine sichere Voraussage über das Ergebnis nicht gemacht werden kann. (16,20,40,43)

5.1 Knorpel- oder Knochentransplantate

Bei erhaltenem, beweglichem Stapes bietet sich vor allem die Incustransposition (23) an.

In den Amboß wird ein kleines Loch eingefräst, in das dann später das Stapesköpfchen zu liegen kommt. Der Amboß wird zwischen Manubrium und Stapes eingespannt. (2,3,20,22,35,40,45) Fehlt der Hammergriff, so kann der Incus auch direkt auf das Trommelfell aufgesetzt werden. (3,43) Bei der Operation muß darauf geachtet werden, daß der transponierte Amboß in keinem Bereich mit dem Trommelfellrahmen in Kontakt kommt, da sonst die Gefahr einer knöchernen Fixierung an der Kontaktstelle besteht. (40,45) Hinzu kommt, daß das Transplantat dislozieren kann, und der Erfolg der Operation somit in Frage gestellt wird. (2,3,16,36) Es werden heute Versuche mit Gewebeklebstoffen gemacht, die eine Dislokation verhindern sollen. (28)

Die Verwendung sowohl von auto- als auch von homoioplastischem Material führt zu gleichermaßen zufriedenstellenden Operationsergebnissen. (26,39,40)

Defekte an allen Kettengliedern gleichzeitig können mit einer von Austin entwickelten L-förmigen Prothese (2,3) beherrscht werden. Sie wird zwischen Trommelfell und Stapesfußplatte eingepaßt. Die gleiche Anwendung findet die T-förmige Prothese nach Jansen (28). Die Schwierigkeit liegt in der genauen Anpassung an die gegebenen Größenverhältnisse.

5.2 Prothesen aus Draht

Bei der Malleostapediopexie werden Defekte im Bereich des Amboß durch eine Edelstahldraht-Prothese überbrückt. Hammergriff und Stapes müssen intakt und beweglich sein. Die Prothese wird während der Operation dem variablen Abstand zwischen Stapesköpfchen und Hammergriff angepaßt. An den Befestigungspunkten wird die Prothese durch Ösen festgehalten. (16,39,40,58) Es genügt aber auch, zur Befestigung am Hammergriff eine Gabel zu formen. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß keine zusätzlichen Verletzungen gesetzt werden müssen. (26)
Bei unsachgemäßer Ausführung kann die Prothese das Trommelfell durchstoßen. (20, 38)

5.3 Prothesen aus Kunststoff

Moon (38), Guilford (20), Sheehy (45) und Wullstein (55) benutzten zur Überbrückung von Defekten im Bereich der Gehörknöchelchenkette verschiedene Kunststoffprothesen. Die Schwierigkeit in ihrer Anwendung bestand hauptsächlich in der Vermeidung von Abstoßungsreaktionen. Dies führte wohl auch dazu, daß in den letzten Jahren andere Materialien vorgezogen wurden. (2, 3, 16, 20, 22, 39, 40, 58)

6. Verträglichkeit der Prothesen

Abstoßungsreaktionen wurden bisher nur nach Anwendung von Kunststoffprothesen beobachtet, (42,54) während die in 70 % Alkohol denaturierten oder in Cialit konservierten homologen Transplantate (1,39) und die Drahtprothesen (22) gut vertragen werden.

II. Problemstellung

Der vorangegangene Teil der Arbeit sollte erstens einen kurzgefaßten Überblick über die Funktion, das Schwingungsverhalten und die Mechanik der Gehörknöchelchenkette am gesunden nicht operierten Ohr geben, zweitens eine kurze Zusammenstellung über die Möglichkeiten der plastischen und rekonstruktiven modernen Ohrchirurgie. Es lag uns daran, deutlich zu machen, daß es die Aufgabe des Chirurgen sein muß, sein jeweiliges Vorgehen während der Operation den speziellen Forderungen anzupassen, die jedes einzelne Ohr an ihn stellt.

Die Untersuchungen am gesunden nicht operierten Ohr (8,33,34,49) zeigten, daß große individuelle Unterschiede im Schwingungsverhalten, im Übertragungsverhältnis, in Gestalt und Form der Gehörknöchelchen und in den räumlichen Abmessungen der Paukenhöhle bestehen können. (13,38,46)

Nur wenn es dem Otochirurgen gelingt, die Schallleitungskette so zu rekonstruieren, daß ihr Übertragungsverhältnis den natürlichen Verhältnissen am Mittelohr nahe kommt, kann er eine Verkleinerung des Schalleitungsdefizits erwarten.

III. Methoden

1. Allgemeines

1.1 Mechanische Sonden

1861 brachte Politzer (41) an bestimmten Punkten der Gehörknöchelchenkette ca. 10 cm lange Glasfäden an und machte so die Bewegungsausschläge der Ossicula sichtbar. Die Zusatzbelastung durch die verhältnismäßig großen Massen dieser Glassonden beeinflußte die ursprüngliche Schwingungsform der Ossicula so stark, daß nach neuen Methoden gesucht werden mußte.

1.2 Aufgeklebte Spiegel

Mach und Kessel (33, 34) konnten in ihren Experimenten die Beeinflussung der Schwingungsform durch exogene Ursachen verringern. Sie klebten kleinste versilberte Glasspiegel auf den Hammergriff. Das einfallende Licht wurde reflektiert, und der zurückgeworfene Lichtstrahl

gab Hinweise auf die Bewegungsform der Gehörknöchelchen. Link (32) und Dahmann (14) übernahmen in ihren Experimenten diese Methode.

1.3 Kapazitative Sonden

v. Békésy (4, 5, 7) maß an menschlichen Felsenbeinen mit Hilfe von speziellen Sonden im elektromagnetischen Feld die Änderung der Kapazität, die durch die Schwingung der Gehörknöchelchen hervorgerufen wurde.

Interferometrie (42), Laser-Holographie und die Ausnutzung des Mössbauereffektes (17) sind Methoden, die in jüngerer Zeit zur Anwendung kamen. Sie gestatten es, auch kleinste Schwingungen zu messen.

1.4 Stroboskopie

Schon 1875 machten sich Mach und Kessel (33, 34) das Prinzip der Stroboskopie zunutze. Bei ihren Untersuchungen kam es ihnen darauf an, Schwingungsabläufe, die mit dem bloßen Auge nicht verfolgt werden konnten, optisch so zu verlangsamen, daß sie der Beobachtung zugänglich wurden. Sie erzeugten definierte Lichtblitze einer bestimmten Frequenz und brachten gleichzeitig das System mittels eines Pfeiftones fast derselben Frequenz zum Schwingen.

2. Eigene Technik

Dieselbe Verlangsamung von schnell schwingenden Bewegungsvorgängen kann unter stroboskopischer Betrachtung durch eine rotierende Lochscheibe, die den Beleuchtungsstrahl jeweils für einen Moment unterbricht, erreicht werden. Eine stabile mechanische Kopplung zwischen der Beleuchtungsfrequenz und der erregenden Tonfrequenz kann erzielt werden, wenn die Lochscheibe zusätzlich zur Zeitfolge der Lichtblitze die Frequenz des Tongenerators steuert. Ein langsam schwingendes Bild entsteht jedoch erst dann, wenn sich Ton- und Beleuchtungsfrequenz um eine Kleinigkeit unterscheiden. Dies wird erreicht durch die elektronische Addition oder Subtraktion von einigen Signalen pro Sekunde.

Ein entsprechendes Mikrostroboskop (27) wurde für unsere Untersuchungen verwendet.
Aufsatzstutzen für 2 Kameras ermöglichen zusätzlich eine stereoskopische Bildauswertung.
Das Mikrostroboskop ist in ein Operationsmikroskop (C. Zeiss, OPMI I) integriert.

2.1 Technischer Aufbau des Mikrostroboskops (nach Helms 27)

Das Gerät besteht aus zwei Hauptteilen: dem Beleuchtungsteil zur Erzeugung definierter Lichtblitze von

variabler Frequenz und dem Tongenerator zur Applikation von Schallreizen.

2.1.1 Beleuchtungsteil

Die Lochscheibe wurde in das Operationsmikroskop OPMI I so eingebaut, daß der Beleuchtungsstrahl durch die Öffnungen der Scheibe in Abhängigkeit von der Umdrehungsgeschwindigkeit für kurze Zeit durchgelassen wird. Durch das Einbringen des Stroboskopteiles in den Kreuzungspunkt der Beleuchtungsstrahlen im Mikroskopteil wurde erreicht, daß die Öffnungen der Lochscheibe das Beleuchtungsfeld nicht einengen. Das Bild behält seine gewohnten Maße.
Ein Vergrößerungswechsler gibt die Möglichkeit, das "stroboskopisch, koaxial, parallaxenfrei" beleuchtete Bild unter verschiedenen Vergrößerungen, (in der Regel sechzehn- bis fünfundzwanzigfach) zu betrachten.

2.1.2 Schallapplikation

Durch die Entwicklung eines Druckkammersystems in Gestalt eines durch eine abgeschrägt gläserne Deckplatte verschlossenen Ohrtrichters wurde es möglich, Druckschwankungen direkt auf das Trommelfell zu übertragen. Die durchsichtige Deckplatte ermöglicht die Betrachtung durch den Ohrtrichter. Ein Lautsprecher, der an der Seite eines dicht an diesem Ohrtrichter aufgebrachten abgeschrägten Ringes befestigt ist, erzeugt den Ton.

Durch eine spezielle elektronische Steuerung wird die stabile Beziehung zwischen Tonhöhe und Beleuchtungsfrequenz gewahrt, und die Subtraktion bzw. Addition von einigen wenigen Tonimpulsen pro Sekunde erreicht.

Eine besondere Schaltung schafft die Möglichkeit, Lichtblitzzufuhr und Schallsignalphase schlagartig zu synchronisieren. So kann das entstandene langsam sich bewegende Bild an jedem Punkt angehalten werden. Das erleichtert die Fixierung der Endpunkte eines Schwingungsablaufs und somit die Messung der Amplitude. Weiter kann die Lautsprecherleistung und die Helligkeit des Beleuchtungsteiles stufenlos geregelt werden.

Mikrostroboskop zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen am Ohr

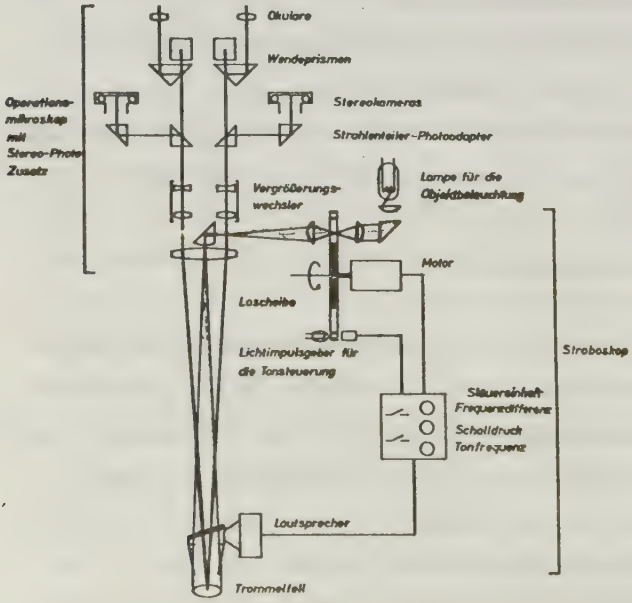


Abb. 2 (nach Helms 27)

IV. Experimentelle Untersuchungen

An zweiundzwanzig menschlichen Felsenbeinpräparaten wurde eine Amboßtransposition durchgeführt. Anschließend wurden die Schwingungsamplituden der einzelnen Ossicula gemessen.

1. Felsenbeinpräparate

1.1 Entnahme

Die von uns verwendeten Präparate wurden zwölf bis vierundzwanzig Stunden post mortem im pathologischen Institut der Universität Tübingen entnommen. Es wurde auf die Erhaltung von Mittel- und Innenohr geachtet, und auch eine Beschädigung des äußeren Gehörganges mußte vermieden werden. Das Felsenbein wurde in der mittleren Schädelgrube entlang einer Linie vom Kiefergelenk zum Kanal der Arteria carotis interna und in der hinteren Schädelgrube entlang der Sutura petrooccipitalis abgetrennt.

1.2 Postmortale Veränderungen

Die am Leichenpräparat ermittelten Schwingungen lassen sich verständlicherweise nur dann auf die Verhältnisse in vivo anwenden, wenn der Nachweis gelingt, daß diese Meßwerte nicht von Alterungsprozessen an den Knöchelchen und ihren Aufhängungsbändern, die nach dem

Tode eingetreten sind, beeinflußt werden. Wird keine geeignete Konservierungsmethode angewendet, kommt es schnell zur Austrocknung und in der Folge zum Steifwerden der elastischen und bindegewebigen Strukturen im Ohr. Kann man jedoch diese Austrocknung durch Lagerung in feuchtem Milieu verhindern, so treten postmortale Veränderungen, wie sie Rubinstein (44) beschreibt, nicht auf. Die Schwingungsfähigkeit der Gehörknöchelchenkette bleibt unverändert. Kobrak (31) und Gundersen (22) bestätigten diese Erfahrung. Auch sie konnten bei geeigneter Lagerung keine Alterungsprozesse beobachten.

1.3 Lagerung

Die Präparate wurden entweder sofort nach der Entnahme untersucht oder, wenn dies nicht möglich war, umgehend auf minus zwanzig Grad Celsius tiefgefroren. Vor der Untersuchung mußten sie dann längere Zeit bis zur völligen Entfrostung sämtlicher Strukturen im Wasserbad aufgetaut werden. Nach Abschluß des Experiments wurden sie sofort wieder eingefroren.
Bei Beachtung dieser Aufbewahrungstechnik konnten identische Ergebnisse noch nach Monaten erzielt werden.

1.4 Präparation

Das Mittelohr wurde von uns so eröffnet, daß wir die Strukturen, denen unser besonderes Interesse galt, mit einer Einstellung des Operationsmikroskops überblicken konnten.

Dabei war zu beachten, daß unter stroboskopischer Beleuchtung nur Bewegungsvorgänge, die rechtwinklig zum einfallenden Licht ablaufen, sowohl stereoskopisch als auch monokular gleichermaßen gut sichtbar werden. Bewegungen parallel zum einfallenden Beleuchtungsstrahl können nur bei binokularer, stereoskopischer Betrachtung in vollem Ausmaß beurteilt werden.

Abb. 3: Untersuchung über den Einfluß, den der Aufblickwinkel (90° u. 75°) bei der Beobachtung der Gehörknöchelchenkette auf den Meßfehler hat

$\alpha_1 = 90^\circ$ sin $90^\circ = 1$

$\alpha_2 = 75^\circ$ sin $75^\circ = 0{,}9659$

$\sin\alpha = \frac{y_2}{x}$, $y_2 = \sin\alpha \cdot x$, wenn $\sin\alpha = 90^\circ$ $y_2 = x$

Das Maximum einer Bewegung wird bei monokularer Betrachtung immer in der Ebene gefunden, die senkrecht zur Achse des einfallenden Lichtes liegt. Ändert sich der Einfallwinkel, so wird der Sinus dieses Winkels gleich dem Quotienten aus dem gemessenen Wert und dem tatsächlichen Betrag der Schwingungsamplitude, d.h. der Meßwert entspricht dem Produkt aus der tatsächlich vorhandenen Amplitude und dem Sinus des Einfallwinkels. Die Messung wird nur dann genau, wenn der gefundene Wert und die tatsächlich vorhandene Amplitude miteinander identisch sind. Dazu muß sin.α gleich eins werden, was bei einem Einfallwinkel von neunzig Grad der Fall ist. (vgl. Abb. 3)
Wird der Winkel kleiner oder größer als neunzig Grad, so muß man mit einem entsprechenden Meßfehler rechnen. Bei einem Winkel von fünfundsiebzig Grad ergibt sich ein Fehler von ungefähr drei Prozent.

Die vereisten Felsenbeine sägten wir auf ein möglichst kleines Format zurecht. Meatus externus, Mittel- und Innenohr mußten erhalten sein. Bei gut pneumatisierten Felsenbeinen wurde dabei meist schon das Antrum mastoideum eröffnet. Mit einem Zahnarztbohrer legten wir die Fossa incudis im Recessus epitympanicus frei und vermieden dabei eine Berührung des Crus breve oder seiner Befestigungsbänder. Weiter trugen wir das Tegmen tympani bis zur Ansatzstelle des Ligamentum capitis mallei ab. Medial frästen wir Teile des Labyrinths weg, er-

öffneten den Canalis facialis und entfernten den Nerv. Um die Stapesfußplatte beurteilen zu können, wurde das Vestibulum eröffnet.
So konnte mit einer Einstellung des Mikrostroboskops das Trommelfell, die Gehörknöchelchenkette und die Stapesfußplatte überblickt werden.

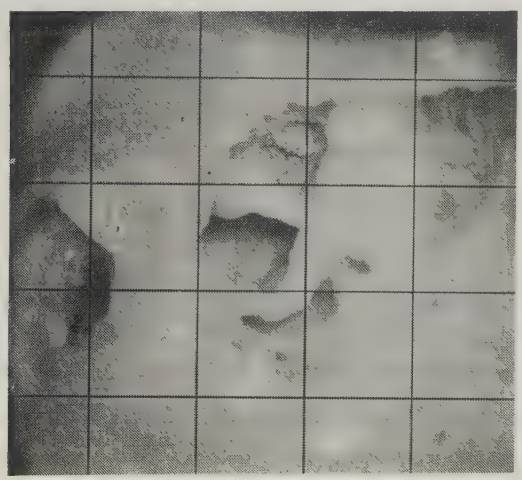


Abb. 4: Übersichtsaufnahme der Pauke
Blick vom Antrum mastoideum auf Hammerkopf, Amboß und Stapesköpfchen

1.5 Incustransposition

Dr. Helms führte für uns an allen Präparaten die Amboßinterposition durch. Der Amboß wurde aus seinen Gelenken und von seinen Bändern gelöst und herausge-

nommen. Nachdem das Crus longum gekürzt worden war, und der Amboß jetzt dem Zustand entsprach, wie er oft nach Cholesteatomen oder nach chronischer Schleimhauteiterung beobachtet wird, wurde er im nächsten Schritt so eingesetzt, daß das Corpus incudis auf dem Stapesköpfchen lag. Den zweiten Befestigungspunkt erhielt er bei fünf Präparaten im oberen Drittel des Manubriums, bei sechs Präparaten im mittleren, bei weiteren fünf im unteren Drittel, und bei den restlichen sechs Präparaten lag er direkt dem Trommelfell neben dem Hammergriff an.
Es wurde darauf geachtet, daß der transponierte Incus keine anderen Berührungspunkte mit den Wänden oder den Strukturen des Mittelohres hatte.

2. Versuchsanordnung

Wir führten den Ohrtrichter in den äußeren Gehörgang ein und dichteten ihn mit Plast lin schalldicht gegen die Umgebung ab. Beschallt wurde mit 110 dB über einen Frequenzbereich von 200 - 1700 Hz. Bei 250 Hz fanden wir die größte Schwingungsamplitude der Ossicula aller 22 Felsenbeinpräparate.
Untersucht wurde immer bei folgenden Bedingungen: Objektivbrennweite 200 mm, Vergrößerungswechslerstellung 16- oder 25-fach, Okulare 10-fach, binokularer Geradtubus 160 mm.

Bei der Auswahl unserer Meßpunkte mußte es unser Ziel sein, die Stellen zu finden, an denen maximale Bewegungsausschläge auftraten, und die durch das Stroboskop gut beobachtet werden konnten. Der erste Meßpunkt lag an der Spitze des Hammergriffs am Umbo, der zweite am Übergang zum Stapesköpfchen und der dritte am hinteren oberen Rand der Stapesfußplatte. Sie wurden mit schwarzer Farbe markiert.

3. Auswertung

3.1 Beobachtung und Beschreibung

Die einfachste und unkomplizierteste Art der Versuchsauswertung ist die Beobachtung und die Beschreibung der Schwingungsvorgänge im Bereich der Gehörknöchelchenkette. Ohne großen technischen Aufwand und damit auch ohne die oft dadurch bedingten Fehler kann auf diese Art ausgewertet werden. Der entscheidende Nachteil dieser Methode ist jedoch darin zu sehen, daß keine Dokumentation der Ergebnisse in Form von Meßbildern, Tabellen oder Kurven möglich ist.

3.2 Okularmikrometer

Eine weitere, relativ einfache Methode zur Messung der Schwingungsamplituden direkt im Experiment fan-

den wir in der Anwendung eines Okularmikrometers. Der Meßpunkt wurde im Laufe von vier Tagen viermal neu eingestellt und jeweils die volle Schwingung gemessen. Erleichtert wurde uns dies durch die Möglichkeit, den Bewegungsablauf in jedem Punkt optisch stoppen zu können.

3.2.1 Eichung

Gegenstände mit bekannter Abmessung wurden durch das Stroboskop betrachtet und die Größenverhältnisse in Okularmikrometereinheiten ausgedrückt. Die Einstellung des Vergrößerungswechslers auf 25-fach wurde im gesamten Versuch beibehalten. So entsprach ein Millimeter fünfundzwanzig Okularmikrometereinheiten.

3.2.2 Meßgenauigkeit

Alle Messungen wurden unter monokularer Betrachtung durchgeführt. Wir mußten also möglichst unter einem Einstellwinkel von neunzig Grad messen, wenn wir größere Fehler vermeiden wollten. Oft war es nötig, zwischen zwei Mikrometereinheiten zu interpolieren. Das führte zu zusätzlichen Ungenauigkeiten.

Der Sinn der Arbeit lag nicht darin, mit letzter Genauigkeit über die Schwingungsverhältnisse der

Gehörknöchelchenkette Auskunft zu geben. Es handelt sich hier lediglich um den Versuch, die Schwingungsamplituden größenordnungsmäßig anzugeben.

4. Ergebnisse

Die Felsenbeine wurden schwingungsfrei eingespannt und die an den drei Meßpunkten auftretenden Schwingungen im Laufe von vier Tagen viermal neu gemessen. Aus den vier erhaltenen Werten bildeten wir das arithmetische Mittel und konnten so die Schwingungsamplitude errechnen. Die Amplituden setzten wir zueinander ins Verhältnis.
In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse festgehalten.

Daten:

Vergrößerungswechslerstellung 25-fach

Okulare 10-fach

Frequenz 250 Hz.

Eichung:

25 Mikrometereinheiten entsprechen 1 mm

1 Mikrometereinheit entspricht 0,04 mm

Abkürzungen:

A = Meßpunkt an der Kontaktstelle von Amboß und Stapes.

U = Meßpunkt am Umbo.

F = Meßpunkt an der Stapesfußplatte.

FB = Felsenbeinpräparat

M = Messung

E = Mikrometereinheit

A. Incustransposition zum oberen Hammergriffdrittel.

FB Nr.	Meß-pkt.	Schwingungsstrecke (E) 1.M.	2.M.	3.M.	4.M.	Arith. Mittel(E)	Ampli-tude(E)
1	U	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,4
	A	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2
	F	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
2	U	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1	0,6
	A	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2
	F	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,05
3	U	1,3	1,4	1,1	1,3	1,3	0,7
	A	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05

4	U	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5
	A	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2
	F	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
5	U	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	0,7
	A	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2
	F	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

FB Nr.	Quotienten aus U(E) : A(E)	U(E) : F(E)	A(E) : F(E)
1	1,8	3,9	2,2
2	2,8	9,2	3,3
3	4,6	13,0	2,8
4	2,5	5,0	2,0
5	2,7	6,3	2,3

B. Incustransposition zum unteren Hammergriffdrittel.

FB Nr.	Meß-pkt.	Schwingungsstrecke (E) 1.M.	2.M.	3.M.	4.M.	Arith. Mittel(E)	Ampli-tude (E)
6	U	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3
	A	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
	F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	U	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,4
	A	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	F	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8	U	0,7	0,8	1,1	0,9	0,9	0,5
	A	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,2
	F	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	U	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3
	A	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3
	F	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
10	U	0,7	1,0	0,9	0,9	0,9	0,5
	A	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2
	F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

FB Nr.	Quotienten aus U(E) : A(E)	U(E) : F(E)	A(E) : F(E)
6	2,3	6,3	2,8
7	2,8	7,8	2,8
8	2,1	9,0	4,4
9	1,3	3,1	2,4
10	2,1	8,8	4,2

C. Incustransposition zum mittleren Hammergriffdrittel.

FB Nr.	Meß-pkt.	Schwingungsstrecke (E) 1.M.	2.M.	3.M.	4.M.	Arith. Mittel(E)	Ampli-tude
11	U	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	0,6
	A	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3
	F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12	U	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,5
	A	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3
	F	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
13	U	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,4
	A	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,2
	F	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1
14	U	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,3
	A	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
15	U	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,3
	A	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
	F	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1
16	U	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3
	A	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
	F	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1

FB Nr.	Quotienten aus U(E) : A(E)	U(E) : F(E)	A(E) : F(E)
11	2,2	10,6	4,8
12	1,9	8,0	4,3
13	2,0	3,6	1,8
14	2,1	10,0	4,7
15	1,8	2,9	1,6
16	2,0	6,5	3,3

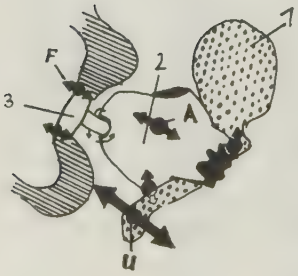
D. Incustransposition zum Trommelfell.

FB Nr.	Meß-pkt.	Schwingungsstrecke (E) 1.M.	2.M.	3.M.	4.M.	Arith. Mittel(E)	Ampli-tude(E)
17	U	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3
	A	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2
	F	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
18	U	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2
	A	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
	F	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
19	U	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6	0,3
	A	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	F	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
20	U	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3
	A	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
	F	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
21	U	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
	A	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
	F	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
22	U	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,4
	A	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
	F	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

FB	Q u o t i e n t e n a u s		
Nr.	U(E) : A(E)	U(E) : F(E)	A(E) : F(E)
17	1,2	2,8	2,3
18	2,5	10,0	4,0
19	1,9	3,0	1,6
20	2,3	5,8	2,5
21	2,2	2,5	2,2
22	2,4	8,5	3,5

Abb.: 5-8

Schematische Darstellung der 4 verschiedenen Möglichkeiten einer Incustransposition, die von uns untersucht wurden.



Meßpkte.		U	A	F
Ampl.	max.	o,7	o,2	o,9
	min.	o,4	o,2	o,1
∅		o,6	o,2	o,1

Abb.:5

Incustransposition zum oberen Hammergriffdrittel. (1=Hammer; 2=Amboß, Proc. long. fehlt; 3=Stapes; U,A,F = Meßpunkte)

Meßpkte.		U	A	F
Ampl.	max.	o,5	o,3	o,1
	min.	o,3	o,1	o,1
ϕ		o,4	o,2	o,1

Abb.: 6
Incustransposition zum unteren Hammergriffdrittel

Meßpkte.		U	A	F
Ampl.	max.	o,6	o,3	o,1
	min.	o,3	o,2	o,1
ϕ		o,4	o,2	o,1

Abb.: 7
Incustransposition zum mittleren Hammergriffdrittel

Meßpkte.		U	A	F
Ampl.	max.	o,4	o,2	o,1
	min.	o,2	o,1	o,1
ϕ		o,3	o,2	o,1

Abb.: 8
Incustransposition zum Trommelfell

4.1 Incustransposition zum oberen Hammergriffdrittel

Bei allen fünf Präparaten stellten wir eine Abnahme der Amplitude vom Manubrium zum Stapes fest. Da der Amboß völlig aus seinem Halteapparat gelöst wurde und nur durch elastische Kräfte gehalten, zwischen Manubrium und Stapesköpfchen sozusagen eingespannt wurde, war seine Verbindung mit Stapes und Hammer nur locker, und es konnten Verschiebungen an den Kontaktstellen beobachtet werden, die zu Torkel- und Wackelbewegungen des Incusrestes führten.
Die Amplitude des Hammergriffs war in jedem Punkt abhängig von dessen Entfernung zur Drehachse. Daher blieben die Bewegungsausschläge im oberen Drittel des Hammergriffs verhältnismäßig gering, und folglich auch die auf den Amboß übertragenen Schwingungen.

4.2 Incustransposition zum unteren Hammergriffdrittel

Diese Form der Transposition wurde an fünf Präparaten durchgeführt. Die Prothese mußte zwischen den beiden Kontaktpunkten an der Spitze des Hammergriffs und dem Stapesköpfchen eine relativ große Distanz überbrükken. Die Verbindungslinie zwischen diesen beiden Punkten deckte sich nicht mehr mit der Richtung der Kraftübertragung in der Ossiculakette. Aus diesem Grund setzte sich die Schwingung des Amboß aus mehreren Bewegungskomponenten zusammen. An der Verbindungsstelle

zum Stapes waren deutliche Rotationsbewegungen zu beobachten. Es wurde daher nur ein Teil der Bewegungsenergie des Amboß auf den Stapes übertragen.

4.3 Incustransposition zum mittleren Hammergriffdrittel

Diese Form der Incustransposition stellte einen Kompromiß zwischen zu geringer Schwingungsamplitude im Berührungspunkt am Hammergriff und einer zu starken Abweichung der Verbindungslinie Hammergriff-Stapesköpfchen aus der ursprünglichen Kraftwirkungsrichtung dar. So hielten sich einerseits die starken Torkel- und Wackelbewegungen des Incus im Rahmen, während andererseits durch den größeren Abstand des Kontaktpunktes am Hammergriff von der Drehachse gute Bewegungsausschläge zu verzeichnen waren.

4.4 Incustransposition zum Trommelfell

Die Ankopplung des Trommelfells an das Foramen ovale konnte auf diese Weise nicht immer zufriedenstellend gewährleistet werden. Es zeigte sich eine deutliche Tendenz zur Dislokation.

Die Bewegungen der Stapesfußplatte waren oft so gering, daß es fast unmöglich war, sie zu messen. Klar

zu erkennen war jedoch, daß die Fußplatte stempelartig, d.h. an jedem Punkt gleich weit, ins ovale Fenster eingedrückt wurde, und keine Kippbewegung um irgendeine Achse ausführte.

V. Diskussion der Ergebnisse

Die Messungen an den Gliedern der Schalleitungskette brachten keine einheitlichen Ergebnisse. Jedes einzelne Felsenbeinpräparat zeigte unabhängig von der Art der durchgeführten Transposition individuelle Bewegungsvariationen. Auch die Schwingungsamplituden waren völlig verschieden. Dieselbe Variabilität aller Größen wurde auch am gesunden, nicht operierten Ohr mehrfach beobachtet. (22) Mach und Kessel (33, 34) wiesen auf große individuelle Unterschiede bezüglich der Bewegungsform der Ossicula und ihrer Achsen hin, während Beyer (8) zusätzlich Unterschiede in Form und Ausbildung der Knöchelchen fand.

Die Effektivität der Bewegungsübertragung hing nach unseren Beobachtungen zum einen vom Abstand des Kontaktpunktes am Hammergriff von der Drehachse ab, zum anderen von der Übereinstimmung der Bewegungs- mit der Kraftwirkungsrichtung.

Am Umbo maßen wir in Übereinstimmung mit Helms die größten Amplituden. Zur Befestigung des transponierten Incus schien uns die Spitze des Hammergriffs je-

doch weniger geeignet, da die direkte Verbindungslinie zwischen Umbo und Stapesköpfchen nicht mit der Richtung, in der die Kraft vom Trommelfell auf den Stapes übertragen wird, übereinstimmt.

Ebenso wie Tonndorf (47,48) und Khanna (50), die jedem Punkt auf dem Manubrium sein eigenes Hebelverhältnis zuordneten, fanden auch wir, abhängig vom Abstand von der Rotationsachse, verschiedene Werte für das Übertragungsverhältnis vom Hammergriff auf den Incus.

Das Ziel einer gehörverbessernden Operation ist neben der Ankopplung des Trommelfells an das Foramen ovale zur Verhinderung einer gleichzeitigen Beschallung des runden Fensters (2,3,56) die Schaffung optimaler Übertragungsverhältnisse durch die Wahl des Befestigungspunktes am Hammergriff. Eine Schwierigkeit liegt darin, daß die relativ festen Gelenkverbindungen des Incus zum Hammer und Stapes bei der Rekonstruktion fehlen, und somit die Gehörknöchelchenkette nicht mehr wie ein annähernd fester Körper schwingen kann. (24,25) Die Wackelbewegungen, die Mach und Kessel am nicht operierten Ohr fanden, traten bei unseren Präparaten in weit stärkerem Maße auf. Besonders deutlich war in diesem Zusammenhang eine Rotation des transponierten Incus um seine Längsachse zu

beobachten.
Die lockere Verbindung des Incus mit Hammergriff und Stapes - der transponierte Amboß wird anfangs nur durch elastische Kräfte und Adhaesion gehalten - führte bei unseren Untersuchungen häufig zu Dislokationen, wie sie auch in vivo zu beobachten sind (2,3,36)

VI. Zusammenfassung

An zweiundzwanzig Felsenbeinpräparaten wurden vier verschiedene Formen der Incustransposition durchgeführt. Der Incuskörper wurde in allen Fällen auf das Stapesköpfchen aufgesetzt, während der zweite Berührungspunkt bei jeweils fünf Präparaten im oberen und unteren Manubriumdrittel lag, und bei weiteren sechs Präparaten im mittleren Drittel. Die restlichen sechs Transpositionen wurden so ausgeführt, daß der Amboß an seinem einen Ende direkt auf dem Trommelfell lag.

Mit Hilfe eines Mikrostroboskops beobachteten wir im Versuch das Schwingungsverhalten der Ossicula und maßen die Amplituden an drei verschiedenen Meßpunkten. Aus den Quotienten dieser Werte erhielten wir Anhaltspunkte für die Beurteilung der Effektivität des Übertragungsverhältnisses.

Die große Variabilität der Bewegungsformen, die an der Ossiculakette zu beobachten war, führten wir in Übereinstimmung mit Mach und Kessel einerseits auf die unterschiedlichen Größenverhältnisse, andererseits auf die Abhängigkeit des Übertragungsverhältnisses von der Lage des transponierten Incus zurück. Tonndorf und Khanna (46, 47, 49) fanden ein eigenes Hebelverhältnis für jeden Punkt auf dem Hammergriff; unsere Beobachtungen scheinen dies zu bestätigen. Die Stapesfußplatte bewegte sich soweit beurteilbar bei allen Präparaten stempelförmig.

VII Literaturverzeichnis:

1. Antoli-Candela, F.: Acta Oto-Rhino-Laryngol. Belg. 24 (1970) 111-124; Homogrêffes tympano-ossiculaires

2. Austin, D. F.: Acta Oto-Rhino-Laryngol. Gelg. 24 (1970) 86-94; Ossicular reconstruction

3. Austin, D. F.: Otolaryng. Clinics of North Am. (Philadelphia) 5 (1972) 145-160; Ossicular reconstruction

4. Békésy, G.v.: Acta Oto-Laryng. (Stockholm) 27 (1939) 281; Über die mechanisch-akustischen Vorgänge beim Hören.

5. Békésy, G.v.: Acta Oto-Laryng. (Stockholm) 27 (1939) 388; Über die mechanisch-akustischen Vorgänge beim Hören.

6. Békésy, G. v.: Akust. Z. 6 (1941) 1; Über die Messung der Schwingungsamplitude der Gehörknöchelchen mittels einer kapazitativen Sonde.

7. Békésy, G. v.: Experiments in Hearing; Mc Graw-Hill, New York, 1960.

8. Beyer, H.: Passow-Schäffer, Beiträge zur Anatomie des Ohres, Nase und Halses 6 (1913) 92; Zur Schalleitungsfrage.

9. Bezold: Archiv f. Ohr.-Nas.- u. Kehlk.-Heilk.77 (1908) 19; Experimentelle Untersuchungen über den Schalleitungsapparat des menschlichen Ohres.

10. Boenninghaus: Heidelb. Taschenb. Bd. 76, 3.Aufl. Springer Verl; Hals-Nasen-Ohrenheilkunde.

11. Cancura, W., F. Schwetz: Acta Oto-Laryng. (Stockholm) 55 (1962) 489; Zur Mechanik der Schallübertragung durch das Mittelohr.

12, Cancura, W.: Mschr. Ohrenheilk. 103 (1969) 4450-4452; Die breitbandige Schallübertragung der Trommelfell-Gehörknöchelchen-Kette. Messungen am menschlichen Schläfenbeinpräparat.

13. Chandler, J. R.: Laryngoscope St.Louis 75 (1965) 793 - 804; The Incus in Tympanoplasty.

14. Dahmann, H.: Z. f. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 24 (1929) 462; Zur Physiologie des Hörens; experimentelle Untersuchungen über die Mechanik der Gehörknöchelchenkette sowie deren Verhalten auf Ton und Luftdruck.

15. Dankbaar, W. A.: J. of the Acoust. Soc. of Am., (1970) Bd. 48, Nr. 4, 1021 - 1022; The Pattern of Stapedial Vibration.

16. Gerlach, H.: Arch. f. Ohren-Nasen-Kehlkopfheilk. 196 (1970) 126 - 128; Die verschiedenen Variationsmöglichkeiten des Typ III der Tympanoplastik.

17. Gilad, P., S. Shtrikman, P. Hillman: J. of The Acoust. Soc. of Am. 41 (9167) 1232; Application of the Mössbauer method to ear vibration.

18. Groen, J.J.: Acta Oto-Laryng. (Stockholm) 40 (1951) 32; Functional anatomy of hearing.

19. Guinan, J.J. jr., Peake, W.T.: J of the Acoust. Soc. of Am. 41 (1967) 1237; Middle ear characteristic of anesthetized cats.

20. Guilford, F.R.: Arch. of Otolaryng. 80 (1964) 80 - 86; Tympanoplasty: Use of Protheses in Conducting Mechanism.

21. Guilford, F.R.: The Laryngoscope 75 (1964) 236 - 242; Repositioning of the Incus.

22. Gundersen, T.: Arch. Otolaryng. 96 (1972) 416-422; Protheses of the Ossicular Chain.

23. Hall, A., C. Rytzner: Arch. Otolaryng. 74 (1961) 22 - 26; Autotransplantation of Ossicles.

24, Helmholtz, H.: Pflügers-Archiv Ges. Physiol. 1 (1868) 1; Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfells.

25. Helmholtz, H.: Über die Mechanik der Gehörknöchelchen Wissenschaftliche Abhandlungen Joh. Ambrosius Barth Leipzig 1883, Vol. 2, S. 503.

26. Helms, J.: HNO 19 (1971) 351 - 352; Vereinfachte Malleoplatinopexie.

27. Helms, J.: Univ.-HNO-Klinik Tübingen: Habilit. Schrift 74 Exp. u. Kl. Unters. zur Funktion d. norm. erkr. u. op. Trommelfells.

28. Jansen C.: Otolaryngol. Clinics of North Am. 5 (1972) 97 - 109; Methods of Ossicular Reconstruction.

29. Johnstone, B. M., Sellick, P.M.: Quarterly reviews of biophysics 5 (1972) 1; The Peripheral Audutory Apparatus.

30. Krikae, J.: The Structure and Function of the Middle Ear. Chapter III. The university of Tokio - Press 1960

31. Kobrak, H.G., J.R. Lindsay, J.E. Fournier, S. Rosen, A. Wilska, H. Wullstein, F. Zöllner: The Middle Ear; University of Chicago - Press. Chicago, Illinois, USA (1959)

32. Link, R.: Hals-Nasen-Ohren-Arzt 33 (1943) 241; Zur Funktion der Membran des runden Fensters und des Schalleitungsapparates.

33. Mach, E., J. Kessel: Arch. f. Ohrenheilk. 9 (1875) 284; Beiträge zur Topographie und Mechanik des Mittelohres.

34. Mach, E., J. Kessel: Sitzungsbericht der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften (Wien) Math.-Naturw. Kl., 69, 3. Abt. 3 (1874) 221; Beiträge zur Topographie und Mechanik des Mittelohres.

35. Mac Fie, D.D., W. S. Goodman: Canad. J. Otolaryng. 1 (1972) 183 - 188; Experience with Incusinterposition.

36. Mc Neill, R.A.: Transaction Am. Academy. of Ophthalm and Otolaryng. 78 (1974) 264 - 268; Ossicular Reconstruction in Effective Ear Disease.

37. Mink, P.J.: Mschr. Ohrenheilk. 71 (1937) 1477; Über die Funktion des Trommelfells und der Gehörknöchelchen.

38. Moon, C.N.: Laryngoscope (St.Louis) 72 (1962) 756 - 764; Incus in Middle Ear Surgery.

39. Plester, D.: HNO (Berlin) 18 (1970) 33; Fortschritte in der Mikrochirurgie des Ohres in den letzten 10 Jahren

40. Plester, D.: Mschr. Ohrenheilk. 102 (1968) 105 - 109; Die Anwendung prothetischen Materials am Mittelohr.

41. Politzer, A.: Lehrbuch der Ohrenheilkunde; 4. Aufl. 1901, Verl. Ferdinand Enke (Stuttgart).

42. Powell, R.L., K.A. Stetson: J. Opt. Soc. Am.55 (1965) 1593; Interferometric Vibration Analysis by Wavefront Reconstruction.

43. Pulec, J.L.: Laryngoscope (St.Louis) 76 (1966) 1429 - 1438; Homograft Incus.

44. Rubinstein, M., H. Fischler, B. Feldmann, E.H. Frei: J. Acoust. Soc. Am. 40 (1966) 1420; Measurement of Stapedial Footplate Displacements during Transmission of Sound Through the Middle Ear.

45. Sheehy, J.L.: Arch. Otolaryng. 81 (1965) 115 - 122; Ossicular Problems in Tympanoplasty.

46. Stround, M.H., S.E. Kinney: Laryngoscope (St.Louis) 82 (1972) 551 - 556; Incus Transposition: A Modified Technique.

47. Tonndorf, J.: Arch. f. klin. u. exp. HNO-Heilk. 205 (1973) 217 - 221; Die Physik des Mittelohres.

48. Tonndorf, J.: Acta Oto-Rhino-Laryng. Belg. 28 (1974) 425 - 441; New Aspects of Middle Ear Transmission.

49. Tonndorf, J., S.M. Khanna: J. Acoust. Soc. of Am. (1966) 513; Some Properties of Sound Transmission in the Middle an Outer Ears of Cats.

50. Tonndorf, J., S.M. Khanna: Arch. f. Nas.-Ohr.- u. Kehlkopfheilk. 187 (1966) 431; Ein Beitrag zur Funktion des Mittelohres.

51. Wever, E.G., M. Lawrence, K.R. Smith: Arch. Oto-Laryng. (Chicago) 48 (1948) 19; The Middle Ear in Sound Conduction.

52. Wever, E.G., M. Lawrence: Physiological acoustics, Princeton University Press, 1954

53. Wever, E.G.: The Transmission of Sound in the Ear; Editor: Schuhknecht, Otoscerosis, Little, Brown and Co. Boston (1962) 139.

54. Wever, E.G.: J. exp. Zool. 184 (1973) 97 - 126; The Function of the Middle Ear in Lizards: Divergent Types.

55. Wullstein, H.L.: Arch of Otolaryng. 78 (1963) 163 - 77; Past and Future of Tympanoplasty.

56. Wullstein, H.L.: Laryngoscope (St.Louis) 66 (1956) 1076 - 1093; Theory and Practice of Tympanoplasty.

57. Wullstein, H.L.: HNO 19 (1971) 289 - 293; Der Entwicklungsweg der Typanoplastik

58. Zöllner, F.: J. of Laryngol. and Otol. Oct. (1955) 637 - 652; The Principles of Plastic Surgery of the Sound-Conducting Apparatus.

LEBENSLAUF

Am 23. Februar 1952 wurde ich, Ulf-Thilo Axel Kreutzer, Sohn des Bankkaufmanns Axel-Wilhelm Kreutzer und seiner Ehefrau Elfride, geb. Danner, als Älterer von zwei Geschwistern in Stuttgart geboren.

Mit sieben Jahren trat ich 1959 in die Ostheimer Volksschule in Stuttgart ein. Vier Jahre später, 1963, wechselte ich auf das Zeppelin-Gymnasium in Stuttgart über. Im Juni 1971 bestand ich dort das Abitur.

Im Wintersemester 1971/72 wurde ich zum Medizinstudium an der Universität Tübingen zugelassen.

Im September 1972 legte ich die naturwissenschaftliche, im März 1974 die ärztliche Vorprüfung ab.

Nachdem inzwischen die neue Approbationsordnung für Ärzte in Kraft getreten war, bestand ich im klinischen Teil des Studiums nach dem zweiten Semester, März 1975, den ersten Teil, nach dem sechsten Semester, März 1977, den zweiten Teil, nach dem achten Semester, 24. April 1978, den dritten Teil der ärztlichen Prüfung.

Am 25. April erhielt ich die Approbation als Arzt.

Während meines klinischen Studiums schrieb ich bei Prof. Dr. med. Helms, dem jetzigen Direktor der Universitäts-HNO-Klinik in Mainz, meine Dissertation über das Thema: „Experimentelle Untersuchungen über die Mechanik der Gehörknöchelchenkette nach Tympanoplastik unter Berücksichtigung der Stapesfußplatte".